

OEG Publication

Ramos JA, Vilches-Blázquez LM

Conflación semántica sobre Linked Data

XIV Conferencia de la Asociación Española para la Inteligencia Artificial
(CAEPIA2011)
November 7th-11th, 2011.
La Laguna, Spain.

Conflación semántica sobre *Linked Data*

José Ángel Ramos¹, Luis M. Vilches-Blázquez¹

¹ Ontology Engineering Group, Dpto. Inteligencia Artificial,
Fac. Informática, Univ. Politécnica de Madrid,
Av. Montepríncipe s/n, 29660 Boadilla del Monte, Madrid, España
{jarg, lmvilches}@fi.upm.es

Resumen. Últimamente se está produciendo un gran apogeo en la publicación de información de muchas áreas temáticas en la Web de los Datos Enlazados (*Linked Data*). La información publicada en formato RDF tiene asociada un modelo conceptual (ontología) por el que se rige. El número de conjuntos de datos publicados y ontologías asociadas empieza a ser numeroso en distintas áreas, aunque las consultas de forma general han de realizarse de manera individualizada. En este artículo, mediante la conflación semántica, hemos desarrollado un enfoque y un sistema de consultas centralizadas que hace transparente para el usuario la diferente distribución de los datos en la nube que supone *Linked Data*.

Palabras clave: Web Semántica, ontologías, *Linked Data*, información geográfica.

1 Introducción

La idea de *Linked Data* está vinculada a las mejores prácticas recomendadas para exponer, compartir y conectar conjuntos de datos en la Web Semántica [1]. Estas prácticas están siendo adoptadas por un número creciente de productores de información, originando un espacio de datos global que contiene billones de datos, denominado la Web de los Datos Enlazados [2].

Los cuatro principios de diseño [3] en los que se basa *Linked Data* son:

1. Utilizar URI como nombres únicos para los recursos.
2. Utilizar el protocolo HTTP para nombrar y resolver la ubicación de los datos identificados mediante esas URI.
3. Representar los datos en RDF y utilizar SPARQL como lenguaje de consulta.
4. Incluir enlaces a otras URI para permitir la localización de más datos enlazados.

Técnicamente, *Linked Data* se trata del uso del lenguaje RDF y del protocolo HTTP para publicar datos estructurados en la Web y conectar datos entre diferentes fuentes de datos, permitiendo que los datos de una fuente sean conectados a los datos en otra fuente [1]. Esta manera de publicar los datos permite que sean legibles informáticamente y los significados sean explícitamente definidos [2].

Los datos están publicados en repositorios accesibles denominados SPARQL *Endpoints*¹, en adelante *Endpoint*. Cada *Endpoint* contiene instancias de un conjunto de modelos. Por tanto, para cada *Endpoint* hay que realizar consultas SPARQL de acuerdo a los modelos que instancia.

Ante todo lo expuesto anteriormente, cabe deducir que la explosión de información y del número de modelos puede dar lugar a un problema de accesibilidad, ya que los datos se encuentran en un formato uniforme (RDF) pero los modelos, con frecuencia, obedecen a diferentes puntos de vista sobre un determinado dominio.

La integración de la información geoespacial proveniente de múltiples fuentes pone de manifiesto diversas problemáticas tanto en el contexto de la representación gráfica como en las clasificaciones de conocimiento asociadas. Estas problemáticas están vinculadas al término confluencia. Este concepto está adquiriendo una doble perspectiva: la visión tradicional del término confluencia [4], está referida al proceso de unificación gráfica o representacional de múltiples fuentes de datos en una visión integrada; y una nueva visión que relaciona la perspectiva semántica con el concepto confluencia -vinculada con las clasificaciones de conocimiento-. Este hecho es resultado de la alta variabilidad de los catálogos de los distintos sistemas que tratan la información geográfica. Esta variabilidad en las clasificaciones repercute en diferencias y variaciones notables a nivel de tipos de fenómenos geográficos (conceptos), como manifiesta el uso de diferentes terminologías para representar una misma información. Este hecho es una barrera al mezclar datos de diferentes fuentes en un entorno interactivo. Desde la perspectiva de la confluencia semántica, estas terminologías deben integrarse en un modelo que sea capaz de armonizar los conceptos geográficos presentes en los múltiples recursos.

En este trabajo se propone un enfoque basado en el uso de un modelo común por área temática, relacionado con los modelos individuales a través de *mappings*, de modo que las consultas se puedan realizar en base a un único modelo pero que los datos obtenidos provengan de todos los modelos. Este enfoque genérico (similar al acercamiento híbrido de [27]) se llevará a cabo usando aplicaciones software (descubridor de *mappings* entre ontologías e intérprete de *mappings* para la distribución de consultas) y se experimentará con un caso de uso real (*Linked Data* geoespacial). La innovación de este trabajo radica en la aplicación y explotación real del modelo híbrido al nuevo entorno de *Linked Data*.

El presente artículo se organiza de la siguiente manera: en la sección 2 se presentan trabajos afines; en la sección 3 se describe el enfoque propuesto y su particularización al dominio geoespacial como caso de uso; en la sección 4 se detallan el proceso y los resultados de la experimentación llevada a cabo; en la sección 5 se comentan brevemente las conclusiones y los futuros trabajos.

¹ “A SPARQL endpoint enables users (human or other) to query a knowledge base via the SPARQL language. Results are typically returned in one or more machine-processable formats.”

2 Trabajo relacionado

La información geográfica (IG) se captura, mantiene y actualiza por diversos productores de información geoespacial con distintos niveles de granularidad, calidad y estructura. Lo que se traduce en la aparición de múltiples conjuntos de fuentes de información geoespaciales con gran heterogeneidad en cuanto a sus modelos y datos asociados [5].

Una aproximación para resolver los problemas causados por la heterogeneidad en el contexto de la confluencia semántica se centra en la utilización de ontologías. En este caso, las ontologías se utilizan con objeto de crear un esquema conceptual (común) que traduzca y contemple las diferentes fuentes de información. Esto ayudará a superar los problemas causados por la heterogeneidad semántica propia de la información geoespacial [6; 7; 8; 9]. En este contexto se ubican los enfoques reflejados a continuación:

La solución propuesta en [10] es un sistema de información geográfica guiado por ontologías (ODGIS) [11] que actúa como un integrador del sistema independiente del modelo. En ODGIS, una ontología es un componente más, como puede serlo una base de datos, que coopera para cumplir con los objetivos del sistema. Asimismo, la utilización de términos de WordNet para resolver las cuestiones de conexión entre fuentes de información y el establecimiento de correspondencias entre múltiples ontologías, logrado a través de técnicas de orientación a objetos, proporciona un elevado nivel de integración.

En [13] se presenta una propuesta para integración de datos espaciales entre dos conjuntos de datos. En esta propuesta hay dos ontologías (aplicación y dominio) y entre ellas se establecen relaciones. Estas relaciones entre los dos conjuntos de datos, del conjunto de datos más antiguo al más actualizado, reflejan las actualizaciones. Además, la localización espacial de los datos se utiliza para refinar el resultado.

En [15; 16] el uso de ontologías en el proceso de integración de información geoespacial de diferentes catálogos se enfoca hacia el establecimiento de traductores semánticos entre las fuentes de datos. De esta manera, la utilización de ontologías proporciona vistas integradas de datos de los diferentes catálogos y procesos de verificación de los datos de distintas fuentes geoespaciales.

Fonseca y colegas [17] proponen una forma de establecer conexión de ontologías a esquemas conceptuales de bases de datos geográficas. De esta manera, estos autores establecen un marco formal que establece una correspondencia entre una ontología espacial y un esquema conceptual geográfico. La correspondencia de ontologías al esquema conceptual se lleva a cabo mediante el establecimiento de tres niveles de abstracción (formal, dominio y aplicación).

Gómez-Pérez y colaboradores [18] integran diferentes fuentes de información con el objetivo de construir un vocabulario común de referencia y, de esta manera, gestionar la enorme cantidad de información manejada por el Instituto Geográfico Nacional (IGN). Para ello, se creó automáticamente una primera versión de una ontología, denominada PhenomenOntology, utilizando la semántica de los catálogos seleccionados. PhenomenOntology conceptualiza fenómenos y sus conceptos se relacionan con las filas de las tablas de fenómenos correspondientes en cada base de datos.

Para la integración de información geográfica a través de ontologías, algunos autores proponen un sistema multiontología [14; 19; 10]. En este enfoque cada organización integra sus fuentes de información usando una ontología local y otra ontología integra todas las ontologías locales de las organizaciones del sistema. Como se verá en este artículo, la diferencia de nuestra propuesta en comparación con este trabajo es considerar el tratamiento de *Linked Data*.

En los trabajos [20; 21] se presenta una propuesta para integrar esquemas de diferentes comunidades de IG, donde cada comunidad utiliza su propia ontología. Esta propuesta está basada en la fusión de ontologías siguiendo relaciones de similitud entre los conceptos de las diferentes ontologías integradas. Finalmente, la ontología fusionada se utiliza para derivar un esquema integrado, utilizado como esquema global en un sistema de base de datos federada [22; 23].

Sobre la relación entre *mappings* y consultas SPARQL, cabe destacar el trabajo sobre SPARQL++ [24], donde se traducen los *mappings* operacionales a consultas en lenguaje SPARQL ampliado. Sin embargo, en el trabajo que aquí se expone los *mappings* son declarativos y sólo se interpretan, no se transforman a consultas directamente, sino que se usarán para traducir vocabularios (partes de las consultas SPARQL). Un trabajo similar, aunque con implicaciones en la modificación de las consultas debido a las relaciones de los *mappings* con los que trata es [25]. Igualmente, queda fuera del ámbito de este trabajo los enfoques que tratan sobre consultas distribuidas en *Linked Data*.

3 Consultas geográficas unificadas

La solución que se plantea para formular de manera unificada las consultas a varios repositorios de *Linked Data* consiste en tomar un modelo (ontología) de referencia, relacionarlo mediante *mappings* con los modelos locales de cada *Endpoint* y desarrollar un sistema que traduzca, usando los *mappings*, las consultas SPARQL con el vocabulario de la ontología de referencia a consultas SPARQL con los vocabularios adecuados de cada *Endpoint*. Este sistema se ha denominado OMI (Intérprete de OEGMappings). En la Figura 1 se muestra una visión general de la solución propuesta. Esta solución genérica se concreta en un caso de uso real para el dominio geoespacial, sin embargo dicha solución es general y puede ser aplicada a otros conjuntos de datos presentes en *Linked Data*.

Caso de uso en el dominio geoespacial

Para la modelización de la información contenida en los conjuntos de datos publicados en la iniciativa **GeoLinked Data**, hay creada una red de ontologías², que es una colección de ontologías unidas a través de una variedad de diferentes relaciones, tales como la modularización, versionado y relaciones de dependencia. Las ontologías que componen esta red son: la ontología geopolítica de la FAO³, una ontología de fenómenos hidrográficos (laguna, surgencia, playa, etc.) denominada

² <http://geo.linkeddata.es/web/guest/modelos>

³ <http://www.fao.org/countryprofiles/geoinfo.asp?lang=es>

hydrOntology⁴, una ontología propia de transportes (pista, faro, aeropuerto, etc.), dos ontologías de modelado y representación de la información geográfica (GML⁵ y WGS84Vocabulary⁶), la ontología con el Vocabulario de la Comisión de Estadística (SCOVO)⁷ y la Ontología de Tiempo⁸ del World Wide Web Consortium (W3C).

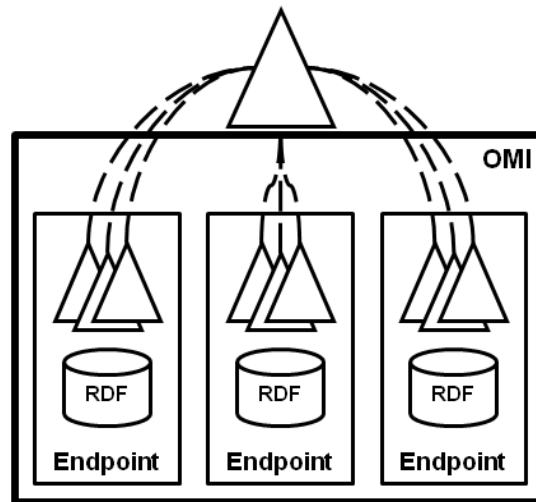


Figura 1. Esquema de la solución propuesta

Para llevar a cabo la conflación semántica de modelos se ha elegido **PhenomenOntology**⁹. Esta ontología ha sido tomada como estándar de facto por parte del IGN para la información geográfica española. Por ejemplo, son conceptos “Edificio religioso”, “Surgencia” y “Autopista”; el concepto “Autopista” tiene como atributo “acceso”, cuyos valores enumerados son “de peaje” y “libre”.

Para obtener los alineamientos entre PhenomenOntology y las ontologías de GeoLinked Data, se ha utilizado la herramienta **OEGMappingDiscoverer** [26] que posee comparadores genéricos y ad hoc para la información geográfica. Esta herramienta genera para cada alineamiento un fichero XML que sigue el formato OEGMappings [12].

Las instancias con información geográfica generadas de estas ontologías se pueden consultar en los repositorios públicos, o *Endpoints*, de GeoLinked Data¹⁰.

Con toda esta información, el intérprete **OMI** dará respuesta a las consultas de información geográfica en español que se realicen con el vocabulario de la ontología de referencia (PhenomenOntology). El proceso que sigue el intérprete es el siguiente:

⁴ <http://mayor2.dia.fi.upm.es/oeg-upm/index.php/es/ontologies/107-hydrontology>

⁵ <http://loki.cae.drexel.edu/~wbs/ontology/2004/09/ogc-gml.owl>

⁶ http://www.w3.org/2003/01/geo/wgs84_pos

⁷ <http://purl.org/NET/scovo>

⁸ <http://www.w3.org/TR/owl-time/>

⁹ <http://mayor2.dia.fi.upm.es/oeg-upm/index.php/es/ontologies/152-phenomenontology>

¹⁰ <http://geo.linkeddata.es/sparql>

- A partir de una consulta, OMI accederá a los alineamientos buscando los *mappings* relativos a los conceptos que aparecen en la consulta.
- Después, filtrará esos *mappings* para obtener sólo el conjunto que le resultan útiles.
- A continuación, traducirá la consulta al vocabulario adecuado de cada *Endpoint* sustituyendo los nombres de los conceptos por los que indican los *mappings*.
- Finalmente recopilará (atendiendo si procede a las relaciones de los *mappings* interpretados) todas las respuestas ofrecidas por los *Endpoints* (URIs) y las devolverá al usuario como una respuesta única a la consulta original.

Restricciones sobre OMI para el caso de uso

Como no es el objetivo explotar la capacidad expresiva del lenguaje SPARQL ni la cantidad y calidad de los datos publicados en *Linked Data*, para simplificar la implementación del sistema se ha restringido la consulta a realizar. Lo que se pretende obtener son los topónimos que pertenecen a un fenómeno geográfico (clase). Es decir, por ejemplo, a partir del fenómeno “Lago”, se pretende obtener “Lago artificial de El Retiro”, “Lago de Bañolas”, “Lago de Carucedo”, etc. Para resolver esta consulta las relaciones de *mappings* que son válidas son la equivalencia, las subsunciones y el solapamiento (\equiv , $<$, $>$, \leq , \geq y *overlap*), no teniendo en cuenta otras relaciones como, por ejemplo, parte-de. OMI aplicará un filtro de relaciones a los *mappings* para obtener los *mappings* útiles.

Para la limitación de la consulta, en cuanto a las relaciones y certezas de los *mappings* a considerar, al sistema OMI le entra un valor que se ha denominado cercanía semántica. La **cercanía semántica** es un artificio para el filtrado de *mappings*. Conceptualmente, la cercanía semántica es la “cantidad” de relación semántica que hay entre los fenómenos de los topónimos buscados y el fenómeno seleccionado. Esta “cantidad” se mide a través de la combinación del tipo de relación del *mapping* y de la certeza del mismo. En la Tabla 1 se puede ver la correspondencia de los 3 posibles valores de cercanía semántica y las relaciones y valores de certeza. OMI usará el valor de la cercanía semántica para el filtrado de *mappings* útiles.

Tabla 1. Cercanía semántica

Relaciones	Certeza	Cercanía semántica
\equiv , $<$, $>$, \leq , \geq	$> 0,7$	1
	$> 0,4$	2
	$[0, 1]$	3
<i>overlap</i>	$> 0,7$	2
	$[0,1]$	3

4 Caso de uso real

Para la experimentación se cuenta con las mencionadas ontologías (PhenomenOntology y la red de ontologías GeoLinked Data) y 3 *Endpoints* en los que se encuentran instancias de las siguientes ontologías:

- NGCE: hydrOntology, transportes, geopolítica
- NOMGEO: hydrOntology, transportes, geopolítica
- BCN200: hydrOntology

Se han generado con OEGMappingDiscoverer los alineamientos entre PhenomenOntology (335 conceptos) e hydrOntology (331 conceptos), transportes (18 conceptos) y geopolítica (6 conceptos). Estos alineamientos tienen 90, 40 y 7 *mappings*, respectivamente.

Sobre esta base de información, se han realizado experimentos de consultas usando el intérprete OMI. A modo de ejemplo, se van a mostrar a continuación las ejecuciones detalladas (considerando la limitación de espacio) de tres consultas.

Ejemplo 1: Laguna

El concepto seleccionado de PhenomenOntology es “Laguna” y la cercanía semántica elegida es 1.

OMI a partir de la URI del concepto “Laguna” busca en los ficheros de *mappings* y obtiene 3 *mappings* del alineamiento con hydrOntology.

<http://www.semanticweb.org/ontologies/2010/04/Phenom4.0.owl#Laguna##LABEL##Laguna> → <id, Laguna, Laguna, =, 1>, <id, Laguna, Laguna de agua dulce, >, 0,7> y <id, Laguna, Laguna de agua salada, >, 0,7>.

El filtro de la cercanía semántica deja el conjunto sólo con el primer *mapping*, al tener los otros *mappings* una certeza no mayor de 0,7.

Como ha localizado *mappings* en el alineamiento con hydrOntology, OMI genera consultas para cada *Endpoint* donde tiene instancias hydrOntology (NGCE, NOMGEO y BCN200), con cada uno de los *mappings*. Se genera una consulta para cada *Endpoint* (sólo hay un *mapping*).

En todos los *Endpoints* encuentra instancias. Se incluye un extracto representativo de las URIs de la respuesta a continuación:

```
URI: http://geo.linkeddata.es/NGCE/resource/Laguna/Tae%C3%B1a%2C%20Laguna%20de
URI: http://geo.linkeddata.es/NGCE/resource/Laguna/Tollos%2C%20Laguna%20de%20los
[...]
URI: http://geo.linkeddata.es/NOMGEO/resource/Laguna/Hilejas%2C%20Laguna%20de%20las
URI: http://geo.linkeddata.es/NOMGEO/resource/Laguna/Tejo%2C%20Laguna%20del
[...]
URI: http://geo.linkeddata.es/BCN200/resource/Laguna/Laguna%20de%20Paniagua
URI: http://geo.linkeddata.es/BCN200/resource/Laguna/Laguna%20Laguna%20
[...]
```

La respuesta final está compuesta por 1.806 URIs (38 provenientes de NGCE, 1.416 provenientes de NOMGEO y 406 provenientes de BCN200).

Ejemplo 2: Pista

El concepto seleccionado de PhenomenOntology es “Pista” y la cercanía semántica elegida es 1.

OMI a partir de la URI del concepto “Pista” busca en los ficheros de *mappings* y obtiene 1 *mapping* del alineamiento con transportes.

<http://www.semanticweb.org/ontologies/2010/04/Phenom4.0.owl#Pista##LABEL##Pista> → <id, Pista, Pista, =, 1>.

El filtro de la cercanía semántica deja el conjunto de *mappings* igual.

Como ha localizado *mappings* en el alineamiento con transportes, OMI genera consultas para cada *Endpoint* donde tiene instancias transportes (NGCE y NOMGEO). Se genera una consulta para cada *Endpoint* (sólo hay un *mapping*).

Sólo hay instancias de este concepto de la ontología transportes en NOMGEO. Se incluye un extracto representativo de las URIs de la respuesta a continuación:

```
URI: http://geo.linkeddata.es/NOMGEO/resource/Pista/Arenas%20Negras%2C%20Pista%20de
URI: http://geo.linkeddata.es/NOMGEO/resource/Pista/Oso%2C%20Pista%20del
URI: http://geo.linkeddata.es/NOMGEO/resource/Pista/Derrabado%2C%20Pista%20del
[...]
```

La respuesta final está compuesta por 24 URIs, todas provenientes NOMGEO.

Ejemplo 3: Surgencia

El concepto seleccionado de PhenomenOntology es “Surgencia” y la cercanía semántica elegida es 2.

OMI a partir de la URI del concepto “Surgencia” busca en los ficheros de *mappings* y obtiene 3 *mappings* del alineamiento con hydrOntology.

<http://www.semanticweb.org/ontologies/2010/04/Phenom4.0.owl#Surgencia##LABEL##Surgencia> → <id, Surgencia, Surgencia, =, 1>, <id, Surgencia natural, Surgencia, <, 0,7> y <id, Surgencia artificial, Surgencia, <, 0,7>.

El filtro de la cercanía semántica deja el conjunto de *mappings* igual, al tener los todos los *mappings* una certeza mayor de 0,4.

Como ha localizado *mappings* en el alineamiento con hydrOntology, OMI genera consultas para cada *Endpoint* donde tiene instancias hydrOntology (NGCE, NOMGEO y BCN200), con cada uno de los *mappings*. Se generan tres consultas para cada *Endpoint*.

Sólo encuentra instancias de “Surgencia” en el *Endpoint* NOMGEO, no teniendo instancias “Surgencia natural” ni “Surgencia artificial” en ningún *Endpoint*. Se incluye un extracto representativo de las URIs de la respuesta a continuación:

```
URI: http://geo.linkeddata.es/NOMGEO/resource/Surgencia/Masc%C3%BAn%2C%20Surgencias%20del
URI: http://geo.linkeddata.es/NOMGEO/resource/Surgencia/R%C3%ADo%20Leza%20o%20de%20
la%20Fuente%20del%20Restauro%2C%20Surgencia%20del%20%7C
URI: http://geo.linkeddata.es/NOMGEO/resource/Surgencia/Covalagua%2C%20Surgencia%20de%20
[...]
```

La respuesta final está compuesta por 9 URIs.

5 Conclusiones y trabajos futuros

La solución planteada para unificar las consultas haciendo uso del enfoque de confluencia semántica se ha llevado a cabo mediante una aplicación, el intérprete de *mappings* OMI. Este sistema realiza la interpretación y consultas de forma dinámica, atendiendo a los ficheros de alineamientos fácilmente actualizables (con la herramienta de descubrimiento automático) y a las asociaciones de los *Endpoints* y sus modelos (ontologías). La experimentación ha demostrado la utilidad del planteamiento y está realizada con un caso de uso real en el dominio geoespacial.

El enfoque y las aplicaciones no son exclusivos ni están desarrollados ad hoc para el dominio de la información geográfica. Así, el ámbito temático no condiciona el soporte teórico en que se basa este trabajo y la aplicabilidad de lo presentado cubre todas las áreas. Para probar esto queda como trabajo futuro la implantación de este enfoque y el uso de las herramientas desarrolladas en alguna otra área temática con información conforme a *Linked Data*, estando sujetos a nuevas características que puedan aparecer y que den lugar a enriquecer el desarrollo.

Igualmente, debido a que la experimentación se ha limitado a una consulta SPARQL determinada, condicionada por el caso de uso real, es trabajo futuro la ampliación del sistema para admitir todo tipo de consultas del estándar y que sean tratadas adecuadamente por el intérprete OMI.

Agradecimientos. Este trabajo ha sido financiado por el proyecto España Virtual (CENIT-2008-1030), auspiciado por el Centro Nacional de Información Geográfica y CDTI, enmarcado en el contexto del programa Ingenio 2010.

Bibliografía

1. Bizer C, Heath T, Idehen K, Berners-Lee T (2008) Linked data on the web (LDOW2008). In Proceeding of the 17th International Conference on WWW, pp: 1265-1266, Beijing, China.
2. Bizer C, Heath T, Berners-Lee T (2009) Linked data - the story so far. International Journal on Semantic Web and Information Systems (IJSWIS) 5(3):1-22.
3. Berners-Lee T (2006) Linked data. World Wide Web design issues. <http://www.w3.org/DesignIssues/LinkedData.html>.
4. OGC (2008) OWS-5 Conflation Engineering Report. Discussion Paper. Pete Brennan (ed.). Version: 0.1.0. Open Geospatial Consortium.
5. Vilches-Blázquez LM, Rodríguez Pascual AF, Mezcua Rodríguez J, Bernabé Poveda MA Corcho O (2007) An approach towards a harmonized framework for hydrographic features domain. In Proceedings of XXIII Int. Cartographic Conference. Moscow, Russia.
6. Kuhn W (1995) Semantics of Geographic Information: GeoInfo 7. Technical University of Vienna, Austria, Department of Geoinformation.
7. Mark DM, Smith B, Tversky B (1999) Ontology and Geographic Objects: An Empirical Study of Cognitive Categorization. Spatial Information Theory, Freksa, Chr., Mark, D.M., (eds.). Lecture Notes in Computer Science 1661, Springer, Berlin, New York. Pp: 283-298.
8. Harvey F, Kuhn W, Pundt H, Bishr Y, Riedemann C (1999) Semantic interoperability: A central issue for sharing geographic information. The Annals of Regional Science, vol. 33 (2): 213-232.
9. Pundt H, Bishr Y (2002) Domain Ontologies for Data Sharing – An Example from Environmental Monitoring Using Field GIS. Computer & Geosciences, vol. 28(1): 95-102.
10. Fonseca FT, Egenhofer MJ, Davis CA, Câmara G (2002) Semantic Granularity in Ontology-Driven Geographic Information Systems. Annals of Mathematics y Artificial Intelligence. Volume: 36, 2002. Issue: 1-2. Pp: 121-151.
11. Fonseca F, Egenhofer M (1999) Ontology-Driven Geographic Information Systems. In Medeiros, C. B. (ed.) 7th ACM Symposium on Advances in Geographic Information Systems, Kansas City, MO, pp.14-19.
12. Ramos JA, Gómez-Pérez A (2008) Mappings for the Semantic Web. IEEE Intelligent Systems - Trends & Controversies. Noviembre-diciembre 2008. Pp: 79-81.
13. Uitermark HTJA (2001) Ontology-Based Geographic Data Set Integration. Ph.D. thesis. University of Twente, The Netherlands.

14. Stuckenschmidt H, Visser U, Schuster G, Vögele T (1999) "Ontologies for geographic information integration". Proceedings of Workshop Intelligent Methods in Environmental Protection: Special Aspects of Processing in Space y Time, 13. International Symposium of Computer Science for Environmental Protection, CSEP 1999. Pp: 81-107.
15. Visser U, Stuckenschmidt H, Schuster G, Vögele T (2002) Ontologies for geographic information processing. Computers & Geosciences, Vol. 28, pp. 103-117.
16. Uitermark HT, Van Oosterom PJM, Mars NJI, Molenaar M (2005) Ontology - based integration of topographic data sets. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation;7(2): pp. 97-106.
17. Fonseca F, Davis C, Câmara G (2003) Bridging Ontologies and Conceptual Schemas in Geographic Information Integration. GeoInformatica, Volume 7(4): 355-378.
18. Gómez-Pérez A, Ramos JA, Rodríguez-Pascual A, Vilches-Blázquez LM (2008) The IGN-E Case: Integrating through a hidden ontology. In Headway in Spatial Data Handling. 13th SDH'08. LNC. Pp. 417-435. Montpellier, France.
19. Hakimpour F (2003) "Using Ontologies to Resolve Semantic Heterogeneity for Integrating Spatial Database Schemata". Ph.D. thesis, Zurich University. Switzerland.
20. Hakimpour F, Timpf S (2001) Using Ontologies for Resolution of Semantic Heterogeneity in GIS. 4th. AGILE Conference on Geographic Information Science, Brno, Czech Republic.
21. Hakimpour F, Geppert A (2001) Resolving semantic heterogeneity in schema integration: an Ontology based Approach. Proc. of Int. Conf. on Formal Ontologies in Information Systems FOIS'01 (Eds. Ch. Welty and B. Smith), New York, ACM Press, pp. 297-308.
22. Sheth AP, Larson JA (1990) Federated Database Systems for Managing Distributed, Heterogeneous, and Autonomous Databases. ACM Computing Surveys, 22(3).
23. Blanco JM, Illarramendi A, Goñi A (1994) Building a federated database system: An approach using a knowledge based system. International Journal on Intelligent and Cooperative Information Systems, vol. 3, no. 4, pp. 415-455.
24. Polleres A, Scharffe F, Schindlauer R (2007) SPARQL++ for mapping between RDF vocabularies. In 6th International Conference on Ontologies, DataBases, and Applications of Semantics (ODBASE 2007), Vilamoura, 2007.
25. Makris K, Gioldasis N, Bikakis N, Christodoulakis S (2010) Ontology Mapping and SPARQL Rewriting for Querying Federated RDF Data Sources. International conference on On the move to meaningful internet systems 2010. Vol. 2, pp: 1108-1117.
26. Ramos JA, Fernández-López M, Gómez-Pérez A (2009) Algoritmo de agregación de *mappings* basado en reglas de selección. Conferencia de la Asociación Española para la Inteligencia Artificial (CAEPIA'2009). Sevilla, 10-12 noviembre de 2009. Pp: 137-146.
27. Wache H, Vögele T, Visser U, Stuckenschmidt H, Schuster G, Neumann H, Hübner S (2001) Ontology-based integration of information – A survey of existing approaches. IJCAI-01 Workshop: Ontologies and Information Sharing, pp: 108-117.